Berichte des
Wrangell-Instituts für Umweltgerechte Produktionsautomatisierung

Band 7

A systematic approach for Feasibility Studies in Production Engineering

Robert Heinemann

A dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements of
Bolton Institute of Higher Education for the degree of Master of Science.

Shaker Verlag
March 2001

Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte
Produktionsautomatisierung

Band 7

Robert Heinemann

A Systematic Approach for Feasibility Studies in Production Engineering

Shaker Verlag
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Heinemann, Robert:
A Systematic Approach for Feasibility Studies in Production Engineering / Robert Heinemann.
Aachen : Shaker, 2002
(Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte Produktions-automatisierung ; Bd. 7)
ISBN 3-8265-9822-9

Copyright Shaker Verlag 2002
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9822-9
ISSN 1615-2557

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort

Neben der technischen und wirtschaftlichen Analyse und Optimierung von Fertigungsprozessen hat in den letzten Jahren die Bewertung von Produktionsverfahren vor dem Hintergrund der Umweltfreundlichkeit eine immer größerer Bedeutung gewonnen. Gründe hierfür sind unter anderem das gestiegene Umweltbewusstsein als auch strengere gesetzliche Reglementierungen und Normen. Ein besonders umweltkritischer Aspekt in der heutigen Fertigung ist der zum Teil nach wie vor exzessive Umgang mit dem Fertigungshilfsmittel Kühlschmierstoff (KSS).

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die hier vorliegende Arbeit mit der technischen, wirtschaftlichen und, im Besonderen, ökologischen Bewertung und Optimierung des Produktionsprozesses „Tieflochbohren kleiner Durchmesser". Sie basiert auf einem Forschungsprojekt, welches vom Labor für Werkzeugmaschinen der Universität Paderborn, Abteilung Soest, in Kooperation mit der Firma ZICO – ZIMMERMANN GMBH & CO. KG in Remscheid-Lüttringhausen durchgeführt wurde.

Für die Möglichkeit zur Mitarbeit an diesem Forschungsprojekt möchte ich mich bei Herrn Professor Dr.-Ing. Gerhard Petuelli, dem Leiter des Labors für Werkzeugmaschinen, bedanken. Durch seine Anregungen und ständige Diskussionsbereitschaft hat er sehr zum Gelingen dieser Master-Arbeit beigetragen.

Als nächstes möchte ich mich bei Herrn Professor Frank Mackin vom Bolton Institute of Higher Education (UK) in seiner Funktion als Zweitprüfer dieser Master-Arbeit bedanken.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen beteiligten Mitarbeitern des Labors für Werkzeugmaschinen für ihre Unterstützung bei der Durchführung dieses Projekts. Ebenso bedanke ich mich bei den Mitarbeitern des Labors für Werkstoffkunde der Universität Paderborn, Abteilung Soest, für ihre Unterstützung bei der Arbeit am Rasterelektronenmikroskop.

Auf Seiten des Kooperationspartners ZICO – ZIMMERMANN GMBH & CO. KG gilt mein besonderer Dank dem Geschäftsführer, Herrn Ulrich Mahnert, sowie all den Mitarbeitern, die an diesem Forschungsprojekt mitgewirkt haben. Des weiteren möchte ich mich auch bei allen anderen Firmen bedanken, die einen Beitrag zu diesem Forschungsprojekt geleistet haben. Nennen möchte ich hier die Firmen MIKRON TOOL AG (Bioggio, CH) und SAT - SEMER ANLAGEN-TECHNIK GMBH (Wickede/Ruhr).

Abschließend möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Karl Schleiermacher für das überaus sorgfältige Korrekturlesen der Arbeit und für seine sehr hilfreichen Anmerkungen bedanken.

Content

List of Figures IX

List of Tables X

List of Symbols XI

List of Abbreviations XII

1 Introduction 1
1.1 Initial situation…..1
1.2 Project partner ZICO ..1
1.3 Motivation for this project ..2

2 Feasibility Studies: State-of-the-art 5
2.1 Motivation to introduce planning studies ..5
2.2 System Development Life Cycle ..5
2.3 Feasibility Studies ..7

3 Aim and outline of this thesis 11
3.1 Definition of the aim ..11
3.2 Outline of this thesis..11

4 Deficiencies in existing Feasibility Studies for use in Production Engineering 13

5 Advanced procedure for Feasibility Studies in Production Engineering 15
5.1 General outline for Feasibility Studies in Production Engineering..15
5.2 Procedure of Feasibility Studies in Production Engineering..18
5.2.1 1st Phase: Definition of Feasibility Study's objective ..18
5.2.2 2nd Phase: Specification ..18
5.2.3 3rd Phase: Inventory and analysis of today's production – Deriving current and future problems..20
5.2.4 4th Phase: Presentation of alternatives ..24
5.2.5 5th Phase: Evaluation of alternatives ..25
5.2.6 6th Phase: Tests and Experiments..26
5.2.7 7th Phase: Final conclusion..29

6 Practical verification: Modification of drilling technology at ZICO 31
6.1 Definition of objective ..31
6.2 Specifications..32
6.3 Inventory and analysis of present situation – Deriving current and future problems…… ..34
6.3.1 Present situation..34
6.3.2 Deriving present and future problems..40
6.3.2.1 Technical problems..40
6.3.2.2 Ecological problems..41
6.3.2.3 Economical problems..42

6.4 Presentation of alternatives 43
6.4.1 High-speed drilling with twist drills using minimal lubrication 43
6.4.1.1 Drilling tools 43
6.4.1.2 High-speed cutting 45
6.4.1.3 Minimal lubrication 46
6.4.1.4 Dry machining 48
6.4.1.5 Advantages and disadvantages 49
6.4.2 Laser-beam cutting 50
6.4.2.1 Process technology 50
6.4.2.2 Advantages and disadvantages 51
6.4.3 Electron-beam cutting 52
6.4.3.1 Process technology 52
6.4.3.2 Advantages and disadvantages 53
6.4.4 Water-jet and water-abrasive-jet cutting 54
6.4.4.1 Process technology 54
6.4.4.2 Advantages and disadvantages 55
6.5 Evaluation of alternatives 55
6.6 Tests and Experiments 60
6.6.1 Problem definition 60
6.6.2 Planning of experiments 60
6.6.3 Performance of experiments 67
6.6.4 Data analysis and interpretation 71
6.6.4.1 Results of cutting force tests 71
6.6.4.2 Results for deep-hole drilling tests 73
6.6.4.3 Results of endurance tests using minimal lubrication 79
6.6.4.4 Results of endurance tests using dry machining 88
6.6.4.5 Additional comments regarding the applicability 89
6.7 Final conclusions 89

7 Final remarks regarding the advanced Feasibility Study's capability 93

8 Summary and outlook 95
8.1 Summary of this thesis 95
8.2 Outlook and suggestions for further research 96

9 References 97

List of Figures

Fig. 1 Selected items of ZICO's product range 2
Fig. 2 Metal cutting production technologies used in industry 3
Fig. 3 Five/six-phase System Development Life Cycle 6
Fig. 4 General structure of Feasibility Studies 8
Fig. 5 Advanced procedure of Feasibility Studies for Production Engineering 17
Fig. 6 Parameters of production technologies to be considered during production's inventory 21
Fig. 7 Occasion-Effect-Matrix and Occasion-Effect-Diagram 23
Fig. 8 Sources of information 24
Fig. 9 Steps of an evaluation process; steps of an experimental process 27
Fig. 10 Partial view inside machining area of 3-spindle drilling machine SSB 3 36
Fig. 11 Occasion-Effect-Diagram for production technology "drilling of small diameters" at ZICO 40
Fig. 12 Alternatives of minimal lubricant mixing and supply 48
Fig. 13 Application field of Electron-beam drilling 53
Fig. 14 Variation of elements' positions inside Occasion-Effect-Diagram for new production technology 61
Fig. 15 Most critical elements with corresponding parameters 62
Fig. 16 View inside the machining area showing measuring devices 68
Fig. 17 Hardware equipment used during experiments 69
Fig. 18 Experiment's schedule 70
Fig. 19 Axial force and drilling torque over cutting speed v_{c1} to v_{c4}, material C45 71
Fig. 20 Axial force and drilling torque over cutting speed v_{c1} to v_{c4}, material X155 Cr V Mo 12 1 (1.2379) 73
Fig. 21 Cutting forces in relation to borehole depth for new drilling tools 77
Fig. 22 Cutting forces in relation to borehole depth for reground drilling tools 78
Fig. 23 Cutting travel in relation to cutting speed, minimal lubrication 79
Fig. 24 Cutting forces in relation to cutting travel, HSCO + F drill, (a) standard cutting speed v_{c1}, (b) enhanced cutting speed v_{c2} 83
Fig. 25 Cutting forces in relation to cutting travel, HSS + TiN drill, (a) standard cutting speed v_{c1}, (b) enhanced cutting speed v_{c2} 84
Fig. 26 Cutting forces in relation to cutting travel, KHSS-E drill, uncoated, (a) standard cutting speed v_{c1}, (b) enhanced cutting speed v_{c2} 85
Fig. 27 Cutting forces in relation to cutting travel, solid carbide drill, uncoated, (a) standard cutting speed v_{c1} 86
Fig. 28 RMS of Acoustic-Emission signal in relation to cutting travel 87
Fig. 29 Cutting travel in relation to cutting speed, dry machining 88

List of Tables

Tab. 1 Phases of the System Development Life Cycle used today 6
Tab. 2 Categorisation of 1st, 2nd and 3rd level priority requirements 19
Tab. 3 Participants for setting up the specification 20
Tab. 4 Elements usually considered during production technology's analysis 22
Tab. 5 Matrix for presenting the production technology's overall performance 29
Tab. 6 Specifications of production technology for machining boreholes of 1.4 mm diameter into perforated plates, material C45 33
Tab. 7 Machining procedures for perforated plate production at ZICO 34
Tab. 8 Elements and deterministic factors of present drilling production at ZICO 35
Tab. 9 Specifications of today's drilling machines at ZICO 36
Tab. 10 Choice of perforated plate materials machined at ZICO 37
Tab. 11 Occasion-Effect-Matrix for production technology "drilling of small diameters" at ZICO 39
Tab. 12 Coolant losses caused by drilling machine tools at ZICO 41
Tab. 13 Materials of twist drills used in advanced drilling machining 44
Tab. 14 Coatings applied on twist drills and indexable inserts 45
Tab. 15 Cutting parameters for CO_2-Laser cutting 52
Tab. 16 Use-Value-Analysis: Weight matrix for evaluation of alternatives, application ZICO 59
Tab. 17 Use-Value-Analysis: Evaluation of production technology alternatives, application ZICO 59
Tab. 18 Use-Value-Analysis: Weight matrix for evaluating requirements on measuring procedures and process characteristics 66
Tab. 19 Use-Value-Analysis: Evaluation of measuring procedures including process characteristics 66
Tab. 20 Specifications of selected twist drills to be tested 67
Tab. 21 Minimal lubricant specifications 67
Tab. 22 Drilling cycles for a borehole depth of 15 mm 74
Tab. 23 Impact of most critical element "tools" on process characteristics 90

List of Symbols

C	Carbon	
Cr	Chromium	
d	inner Diameter	[mm]
D	outer Diameter	[mm]
F_Z	(Axial) Force	[N]
HRA	Hardness of Rockwell, Measuring method “A”	
HV	Hardness of Vickers	
L	Length	[mm]
Mn	Manganese	
Mo	Molybdenum	
T, T_Z	(Drilling) Torque	[Nm]
Ti	Titanium	
TiAlN	Titanium-Aluminium-Nitride	
TiCN	Titanium-Carbon-Nitride	
TiN	Titanium-Nitride	
V	Vanadium	
v_c	cutting speed	[m/min]
$v_{c,N}$	standard cutting speed, recommended by tool manufacturers	[m/min]
$v_{c,x}$	x-times the standard cutting speed	[m/min]
v_f	feed velocity	[mm/min]
W	Tungsten	

List of Abbreviations

ASME	American Society of Mechanical Engineers
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
FFT	Fast Fourier Transform
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organisation for Standardization
SAE	Society of Automotive Engineers
SDLC	System Development Life Cycle
VDI	Verein Deutscher Ingenieure